

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ткаченка Дениса Анатолійовича

«Аналітико-чисельні методи аналізу деформування складних пластинчатих систем», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Актуальність дисертації Ткаченка Дениса Анатолійовича зумовлена зростаючими вимогами до надійності, ефективності й економічності розрахунків несучих конструкцій у галузях авіаційної, космічної та машинобудівної техніки, які складаються з тонкостінних елементів, а саме пластин та панелей. Такі конструкції працюють у складних експлуатаційних умовах і часто мають нерегулярну геометрію, комбіновану структуру та комплексні граничні умови, що створює підвищені вимоги до точності й фізичної коректності розрахункових моделей.

Удосконалення методів розрахункового аналізу складних конструкцій є необхідною умовою для забезпечення точного прогнозування їх деформативної поведінки, стійкості та ресурсу. Запропоновані в дисертації підходи дають змогу достовірно моделювати напружено-деформований стан конструкцій зі складними закріпленнями та просторовою взаємодією елементів без надмірного ускладнення моделі чи перевантаження обчислювальної схеми. Необхідно зазначити, що у дисертаційній роботі успішно поєднано аналітичні і чисельні методи. Такий підхід дозволяє оптимально балансувати між точністю фізичного опису й обчислювальною доцільністю, що є надзвичайно цінним у контексті інженерного застосування.

З практичної точки зору, особливо актуальною є розробка нових підходів до опису процесів деформування пластинчатих систем, які враховують фізичну та геометричну неоднорідності конструкції, специфіку прикладених навантажень. Побудова новітніх аналітико-чисельних розв'язків дозволяє досягати високої точності моделювання з урахуванням вимог до відповідності граничним і контактним умовам, що критично важливо для передбачення напружених зон, потенційних дефектів та оцінки міцності.

Запропоновані в дисертації методологічні рішення також відповідають сучасним вимогам до універсальності та масштабованості інженерних підходів: вони можуть бути інтегровані в існуючі CAD/CAE-системи, адаптовані до конструкцій різної складності та використані на різних етапах життєвого циклу виробу – від етапу проектування до ресурсного

13x 113 / 2025

619 20.05.2025

прогнозування. Враховуючи, що сучасна інженерна практика дедалі більше орієнтується на цифрове моделювання, розробка таких адаптивних обчислювальних методів аналізу має безперечну практичну й міждисциплінарну значущість.

2. Наукова новизна роботи.

Наукова новизна дослідження проявляється передусім у розвитку та поєднанні методу ідентифікації крайових умов із чисельними методами, такими як метод скінченних елементів і метод Рітца, що дозволяє отримувати точні аналітико-чисельні розв'язки задач деформування складних конструкцій.

У дисертації запропоновано два принципово різних підходи до розв'язання повністю неоднорідної крайової задачі, що є одним із найскладніших класів задач у механіці деформівного твердого тіла.

Перший із них полягає у побудові спеціальних універсальних функцій, які апріорно враховують як структурну неоднорідність конструкції, так і складну конфігурацію граничних умов. Такі функції реалізуються в рамках узагальненої варіаційної постановки і дозволяють одержувати розв'язки, що автоматично задовольняють умови на границях без потреби у додатковому узгодженні. Це значно підвищує точність та адаптивність побудованого розв'язку і відкриває можливості для ефективного моделювання складних конструктивних систем із неоднорідним закріпленням.

Другий підхід ґрунтується на ідеї редукції складної неоднорідної крайової задачі до суми кількох часткових задач з напіводнорідними граничними умовами. Запропонована процедура дозволяє подати загальний розв'язок у вигляді суперпозиції розв'язків, кожен з яких окремо враховує специфіку або граничних умов, або зовнішнього навантаження. Така декомпозиція істотно спрощує обчислювальну реалізацію задачі, зменшує ризик втрати стабільності при чисельному розв'язанні та дозволяє використовувати перевірені аналітико-чисельні методи для кожного компонента. У роботі детально розроблено аналітичну техніку побудови таких часткових розв'язків, що забезпечує їх точне узгодження в межах загальної суперпозиційної схеми.

При реалізації запропонованих у роботі підходів було здійснено ґрунтовне дослідження збіжності, стійкості та точності отриманих розв'язків як для окремих конструктивних елементів (зокрема, прямокутних пластин із довільним типом закріплення), так і для складених систем, що утворені з таких елементів, а саме стрингерних панелей. У ході дослідження автором

продемонстровано, що побудовані аналітико-чисельні розв'язки мають експоненційну збіжність, що є принциповою перевагою порівняно як із існуючими наближеними аналітичними розв'язками, так і розв'язками, отриманими сучасним чисельним методом скінченних елементів. Така властивість запропонованих дисертантом розв'язків свідчить не лише про їх високу точність, а й про виняткову ефективність з точки зору обчислювальних витрат.

Отримані результати дозволяють із високим ступенем достовірності моделювати процеси деформування як окремих елементів конструкцій з комплексними граничними умовами, так і складних інженерних систем.

3. Наукове та практичне значення результатів роботи.

У представленій роботі дисертантом запропоновано низку нових теоретичних і прикладних рішень, які свідчать про її високе наукове і практичне значення. Насамперед, це поглиблення та розвиток теорії аналітико-чисельних методів у задачах механіки деформівного твердого тіла, зокрема у контексті аналізу деформування складних пластинчатих конструкцій із довільними граничними умовами. Запропонований автором підхід є новим у частині комбінування різних методів математичного моделювання, а також побудови функціонально обґрунтованих базисних систем у енергетичних просторах, що забезпечує значне підвищення ефективності та точності розрахунків.

Одним із ключових наукових результатів є розробка декомпозиційного та системного підходів, які дозволяють зменшити складність граничних задач механіки пластин. Запропоновані методики забезпечують розв'язання задач для конструкцій з довільною конфігурацією та граничними умовами без необхідності спрощення геометрії чи механічної моделі. Такі підходи значно розширюють можливості класичних методів і надають нові інструменти для аналітичного аналізу систем, де раніше домінували виключно чисельні методи.

Окремої уваги заслуговує використання спеціальних поліноміальних функцій, зокрема функцій Халілова та функцій Минтюка, які, попри відмінності у побудові, мають виразні апроксимативні властивості й виявляються особливо ефективними для варіаційного розв'язання задач. Їх застосування забезпечує експоненційну збіжність розв'язків, що є принципово важливим для досягнення високої точності та достовірності результатів. Особливо показовим є те, що обидва типи функцій приводять до однакових результатів як для шуканої функції, так і для її похідних у всіх

точках області та на її межі. Такий збіг, досягнутий на основі різних апроксимаційних підходів, свідчить про гарантовано високу точність аналітико-чисельного розв'язку.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості безпосереднього застосування розроблених алгоритмів для моделювання та аналізу напружено-деформованого стану конструкцій авіаційної та машинобудівної техніки, які містять елементи пластинчастої структури з різними типами закріплень.

Результати, отримані в роботі, дозволяють не лише підвищити точність інженерних розрахунків, а й зменшити обчислювальні витрати порівняно з традиційними чисельними методами, зокрема методом скінченних елементів, за рахунок використання малорозмірних систем лінійних рівнянь із високою збіжністю.

Методи, розроблені в дисертації, були апробовані на конкретних прикладах розрахунку стрингерних панелей, що ілюструє їхню ефективність, універсальність та можливість адаптації до різних класів задач. Порівняння з результатами, які отримані за допомогою промислового програмного забезпечення для скінченноелементного аналізу, підтвердило високу точність і достовірність аналітико-чисельних рішень.

Деякі результати роботи впроваджено на АТ «Антонов», що підтверджено відповідними актами.

4. Достовірність і обґрунтованість результатів роботи.

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Ткаченка Дениса Анатолійовича, в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на фундаментальних підходах теорії пружності. При проведенні досліджень у дисертації послідовно використовувалися класичні варіаційні підходи, зокрема методи Бубнова–Гальоркіна і Рітца, а також чисельні методи.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується узгодженістю зі скінченноелементними розв'язками, що підтвердило високу точність та ефективність запропонованих підходів. Суттєвою перевагою роботи є широка джерельна база (152 найменування), що свідчить про глибоку обізнаність автора із сучасним станом проблематики.

5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 18 наукових працях, серед яких: 11 статей у журналах, включених до переліку наукових фахових видань України; 1 публікація у науковому періодичному виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus, 6 тезисів у матеріалах конференцій, що засвідчують апробацію результатів дисертації.

6. Загальна характеристика роботи.

Дисертаційна робота Ткаченка Дениса Анатолійовича складається зі вступу, чотирьох розділів основного викладу, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі подано загальний огляд сучасного стану досліджень в галузі механіки пластинчатих і тонкостінних конструкцій. Аналізуються існуючі аналітичні, чисельні та комбіновані методи розв'язання задач деформування складних конструкцій та їх елементів. Зазначено недоліки традиційних підходів при розрахунку складних конструктивних систем із довільними граничними умовами, що обґрунтовує актуальність розробки нових методів.

Другий розділ присвячено формулюванню математичних моделей деформування складних пластинчатих систем і викладенню загальної методології побудови аналітико-чисельних розв'язків. Запропоновано формалізований підхід до комбінування аналітичних методів із чисельними засобами шляхом використання декомпозиційних стратегій та функціональних базисів у відповідних просторах.

У третьому розділі розглядається напіводнорідна крайова задача, що характеризується неоднорідним диференціальним рівнянням та однорідними граничними умовами. Ця задача відповідає класичній постановці задачі про згин пластини або плоскій задачі теорії пружності, яка сформульована через функції Ейрі. Як відомо, точного розв'язку такої задачі не існує, а отже, її аналітико-чисельне розв'язання становить суттєвий науковий інтерес і є необхідним етапом у побудові повного розв'язку задач з більш загальними (неоднорідними) граничними умовами в межах декомпозиційного підходу. Проаналізовано різні способи розв'язання задачі з використанням різних систем координатних функцій. Проведено порівняння апроксимативних властивостей сучасних базисів. Показано, що вибір базису й чисельної схеми суттєво впливає на точність, збіжність і стійкість отриманих результатів.

Четвертий розділ містить результати чисельної реалізації запропонованих методик. Наведено приклади розрахунків для різних типів пластинчатих систем (у тому числі багатострингерних панелей), виконано порівняння з розв'язками, які отримано методом скінченних елементів. Показано високу ефективність запропонованих підходів з огляду на точність і швидкість збіжності. Продемонстровано можливість застосування розроблених алгоритмів у практичних розрахунках та інженерному моделюванні.

У висновках узагальнено основні результати дослідження, підкреслено їх наукову новизну та практичну цінність, а також окреслено напрями подальших досліджень у межах обраної наукової тематики.

Список використаних джерел, що складається із 152 найменувань, досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Додатки містять матеріали, які одержані дисертантом для розв'язання основних задач дослідження, та акти впровадження.

7. Зауваження до дисертаційної роботи.

До дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. У роботі наведено великий обсяг формулювань, який ускладнює сприйняття основних ідей. Варто було б у вступі або висновках подати основний огляд ключових практичних результатів без надлишкової деталізації.

2. У третьому розділі в якості основи для побудови аналітико-чисельних розв'язків обрано функції Халілова або Минтюка. Проте не пояснено, чому саме ці функції були обрані як базові, адже у відомих літературних джерелах широке застосування мають тригонометричні функції, які традиційно використовуються для розв'язання задач подібного типу. Було б доцільно обґрунтувати переваги використаного базису в порівнянні з класичними тригонометричними системами, особливо в контексті їх апроксимуючих властивостей та збіжності.

3. Є недоліки оформлення дисертаційної роботи, за текстом зустрічаються друкарські та стилістичні помилки.

Ці зауваження не знижують загального позитивного враження від дослідження, а лише вказують на потенційні напрями подальшого розвитку.

8. Загальний висновок до дисертації.

Загалом, дисертаційна робота «Аналітико-чисельні методи аналізу деформування складних пластинчатих систем» Ткаченка Дениса Анатолійовича є завершеним науковим документом, що відображає вагомі теоретичні та прикладні результати, які мають значення для подальшого розвитку методів розрахунку деформування складних конструкцій.

Подана дисертаційна робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а саме пунктам 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а здобувач Ткаченко Денис Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент:

завідувачка відділу
вібраційних і термоміцнісних досліджень
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України
доктор технічних наук, професор



Наталя СМЕТАНКІНА

Підпис д-ра техн. наук, проф.
Наталі Сметанкіної засвідчую

Учений секретар
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А.М. Підгорного НАН України
доктор технічних наук



Сергій УГРІМОВ

« 19 » травня 2025 року